

# Impactos das Tecnologias nas Engenharias 5

**Franciele Bonatto  
João Dallamuta  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)**



**Franciele Bonatto**  
**João Dallamuta**  
**Rennan Otavio Kanashiro**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias nas Engenharias**

## **5**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Lorena Prestes e Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

### **Conselho Editorial**

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 5 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, João Dallamuta, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 5)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-195-4  
DOI 10.22533/at.ed.954191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.  
I. Bonatto, Franciele. II. Dallamuta, João. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

A engenharia, em um aspecto etimológico é derivada do latim ingenium , cujo significado é "inteligência" e ingeniare , que significa "inventar, conceber". A inteligência de conceber define o engenheiro.

Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia. Mostrar parte desta ligação é o principal propósito desta obra.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos, ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. São apresentados vários trabalhos de cunho tecnológico associados a temas como Biodiesel, Offshore, técnicas e ensaios associados a manutenção e segurança, processos químicos, entre outras temáticas. Todos com resultados e discussões enriquecedoras.

Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Editora Atena. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar com suas carreiras e gerar uma reflexão mais aprofundada sobre a relação entre a tecnologia e a engenharia.

Boa leitura!

Franciele Bonatto  
João Dallamuta  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO COM ÓLEO RESIDUAL E CATALISADOR DO TIPO ZS/MCM-41	
<i>Heloísa do Nascimento Souza</i>	
<i>Mateus Andrade Santos da Silva</i>	
<i>Carlos Eduardo Pereira</i>	
<i>José Jailson Nicacio Alves</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa Barbosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DE ADULTERANTES NO DIESEL S10 COM ÓLEOS VEGETAIS	
<i>Anne Beatriz Figueira Câmara</i>	
<i>Fernanda Maria de Oliveira</i>	
<i>Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura</i>	
<i>Leila Maria Aguilera Campos</i>	
<i>Clenildo de Longe</i>	
<i>Luciene da Silva Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
BENTONITA CÁLCICA TRATADA QUIMICAMENTE VIA ACIDIFICAÇÃO E IMPREGNADA COM ÓXIDO METÁLICO COMO CATALISADOR NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL	
<i>Renan Pires de Araújo</i>	
<i>Yasmin Maria da Silva Menezes</i>	
<i>Erivaldo Genuino Lima</i>	
<i>Adriana Almeida Cutrim</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS DA ÁGUA PRODUZIDA UTILIZANDO MICROEMULSÃO COM TENSOATIVO VEGETAL	
<i>Jôsy Suyane de Brito Souza</i>	
<i>Luiz Mário Nelson de Góis</i>	
<i>José Roberto de Souza</i>	
<i>George Simonelli</i>	
<i>Luiz Carlos Lobato dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
REUTILIZAÇÃO DO CATALISADOR DO TIPO MOO <sub>3</sub> /MCM-41 NA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA	
<i>Heloísa do Nascimento Souza</i>	
<i>André Miranda da Silva</i>	
<i>José Jailson Nicacio Alves</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa Barbosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915035</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 53**

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO DIESEL APÓS ADIÇÃO DO BIODIESEL EM DIFERENTES PROPORÇÕES

*Lorena Silva Querino da Costa*  
*Tatyane Medeiros Gomes da Silva*  
*Rafael Viana Sales*  
*Anne Beatriz Figueira Câmara*  
*Leila Maria Aguilera Campos*  
*Luciene Santos de Carvalho*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915036**

**CAPÍTULO 7 ..... 61**

DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DO MATERIAL LIPÍDICO PRESENTE NO CHORUME: UM POSSÍVEL CAMINHO PARA PRODUÇÃO DE BODIESEL

*Tamara Miranda de Moura*  
*Miguel Martins dos Santos Neto*  
*Daniele da Silva Oliveira*  
*Rafael Oliveira Batista*  
*Anne Gabriella Dias Santos*  
*Luiz di Souza*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915037**

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

AVALIAÇÃO DO COMPLEXO OXALATO MISTO DE NIÓBIO E TÂNTALO COMO CATALISADOR NA PRODUÇÃO DE BODIESEL VIA ESTERIFICAÇÃO METÍLICA

*Tiago Fernandes de Oliveira*  
*Maria Veronilda Macedo Souto*  
*Angelinne Costa Alexandrino*  
*Carlson Pereira de Souza*  
*Rayane Ricardo da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915038**

**CAPÍTULO 9 ..... 87**

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ZNMCM-41 E NIMCM-41 APLICADOS NA DESSULFURIZAÇÃO ADSORTIVA DO DIESEL CÔMBUSTÍVEL

*Rafael Viana Sales*  
*José Alberto Batista da Silva*  
*Tatiana de Campos Bicudo*  
*Maritza Montoya Urbina*  
*Leila Maria Aguilera Campos*  
*Luciene da Silva Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915039**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

INFLUÊNCIA DO FRACIONAMENTO DE PETRÓLEO POR SISTEMA PRESSURIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DE ÁCIDOS NAFTÊNICOS POR GC/MS E GC×GC/TOF-MS

*Juciara dos Santos Nascimento*  
*Roberta Menezes Santos*  
*Flaviana Cardoso Damasceno*  
*Silvia Maria Silvia Egues*  
*Elton Franceschi*  
*Lisiane dos Santos Freitas*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150310**

**CAPÍTULO 11 ..... 112**

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ENXOFRE TOTAL EM PETRÓLEO PESADO POR CROMATOGRAFIA DE ÍONS

*Álvaro Gustavo Paulo Galvão*  
*Jildimara de Jesus Santana*  
*Izabel Kaline da Silva Oliveira*  
*Emily Cintia Tossi de Araújo Costa*  
*Djalma Ribeiro da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150311**

**CAPÍTULO 12 ..... 121**

OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE SEPARAÇÃO SARA E USO DE CORRELAÇÕES MATEMÁTICAS NA AVALIAÇÃO COMPOSICIONAL DE ÓLEOS CRUS

*Keverson Gomes de Oliveira*  
*Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura*  
*José Alberto Batista da Silva*  
*Valdic Luiz da Silva*  
*Ramoni Renan Silva de Lima*  
*Luciene da Silva Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150312**

**CAPÍTULO 13 ..... 131**

TÉCNICA DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA PARA O MONITORAMENTO DO MECANISMO DE DANO EM DUTOS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO

*David Domingos Soares da Silva*  
*Genilton da França Barros Filho*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150313**

**CAPÍTULO 14 ..... 138**

USO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO EM PARÂMETROS MAGNÉTICOS COMO TÉCNICAS AVANÇADAS DE MANUTENÇÃO PARA O MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE EQUIPAMENTOS OFFSHORE

*David Domingos Soares da Silva*  
*Genilton da França Barros Filho*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150314**

**CAPÍTULO 15 ..... 144**

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA (CFD) DE VAZAMENTO DE GASES INFLAMÁVEIS EM PLATAFORMAS OFFSHORE

*Davith da Silva Campos*  
*Anaximandro Anderson Pereira Melo de Souza*  
*Paulo Emanuel Medeiros Paula*  
*Lígia Maria dos Santos Barros Rodrigues*  
*Luís Jorge Mesquita de Jesus*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150315**

**CAPÍTULO 16 ..... 153**

CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF AN UNDERGROUND EXCAVATION TECHNIQUE

*Lidiani Cristina Pierri*  
*Rafael Pacheco dos Santos*  
*Jair José dos Passos Junior*  
*Anderson Moacir Pains*  
*Marcos Aurélio Marques Noronha*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150316**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>164</b>
ANÁLISE DE UM TESTE DE FORMAÇÃO A POÇO REVESTIDO DA BACIA POTIGUAR	
<i>Marcio Murinelly Josino Filho</i>	
<i>João Luiz Porfirio da Silva</i>	
<i>Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado</i>	
<i>Jardel Dantas da Cunha</i>	
<i>Antônio Robson Gurgel</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150317</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>172</b>
REMOÇÃO DE ÓLEOS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO UTILIZANDO POLIELETROLITOS COMERCIAIS	
<i>Valécia Dantas de Souza</i>	
<i>João Luiz Porfirio da Silva</i>	
<i>Márcio Murinelly Josino Filho</i>	
<i>Andrea Francisca Fernandes Barbosa</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150318</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>180</b>
OBTENÇÃO DE ALUMINATO DE ZINCO ATRAVÉS DO MÉTODO HIDROTÉRMICO ASSISTIDO POR MICRO-ONDAS E APLICAÇÃO COMO CATALISADOR NA OBTENÇÃO DO BIODIESEL	
<i>Erivane Oliveira da Silva</i>	
<i>Guilherme Leocárdio Lucena</i>	
<i>Max Rocha Quirino</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150319</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>191</b>
ESTUDO DA LUMINOSIDADE EM SOLUÇÃO DE NITRATO DE PRATA PARA DETERMINAÇÃO DE SULFETO EM ÁGUA POR POTENCIOMETRIA	
<i>Larissa Sobral Hilário</i>	
<i>Letícia Gracyelle Alexandre Costa</i>	
<i>Ana Gabriela Soares da Silva</i>	
<i>Henrique Borges de Moraes Juviano</i>	
<i>Djalma Ribeiro da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150320</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>199</b>



## OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE SEPARAÇÃO SARA E USO DE CORRELAÇÕES MATEMÁTICAS NA AVALIAÇÃO COMPOSICIONAL DE ÓLEOS CRUS

### **Keverson Gomes de Oliveira**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

### **Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

### **José Alberto Batista da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

### **Valdic Luiz da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

### **Ramoni Renan Silva de Lima**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

### **Luciene da Silva Santos**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Instituto de Química  
Natal – RN

**RESUMO:** Na indústria do petróleo, uma das principais metodologias para a caracterização do óleo é o método SARA, que se baseia na separação das frações de hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos

presentes em petróleos médios e pesados com o uso de solventes de diferentes polaridades; porém, trata-se de um método oneroso e bastante demorado. Este trabalho tem como objetivo a otimização do método SARA utilizando centrifugação e banho ultrassom para a separação das frações de diferentes óleos, além da correlação entre os percentuais mássicos das frações extraídas e os dados físico-químicos dos óleos crus, obtidos por testes de ponto de fluidez, densidade API e destilação PEV. Algumas correlações matemáticas foram usadas para calcular parâmetros importantes como ponto de anilina, fator  $K_{UOP}$  e teor de aromáticos. A nova metodologia empregada para o método SARA mostrou-se eficaz na separação das frações dos óleos, reduzindo em cerca de 10 h o tempo de separação dos asfaltenos. O resultado de composição SARA mostrou grande sinergia com as propriedades físico-químicas obtidas de forma experimental e teórica, permitindo uma classificação eficiente dos óleos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Separação SARA, correlações matemáticas, propriedades físico-químicas, caracterização de petróleo.

**ABSTRACT:** One of the main methodologies for oil characterization in the petroleum industry is the SARA method, which is based on the separation of the saturated, aromatic, resin

and asphaltene hydrocarbon fractions present in medium and heavy oils by using solvents of different polarities; however, it is a costly and time-consuming method. This work aims to optimize the SARA method using centrifugation and ultrasonic bath to fractionate different oils, in addition to correlate the mass percentages of the extracted fractions and the physicochemical data of the crude oils, obtained by pour point, API density and TBP distillation tests. Some mathematical correlations were used to calculate important parameters such as aniline point,  $K_{UOP}$  factor and aromatic content. The new methodology used for SARA method proved to be effective in separating the fractions, reducing the separation time of asphaltenes by about 10 h. The result for SARA composition showed great synergy with the physicochemical properties obtained experimentally and theoretically, allowing for an efficient classification of the oils.

**KEYWORDS:** SARA separation, mathematical correlations, physicochemical properties, petroleum characterization.

## 1 | INTRODUÇÃO

A principal matéria-prima para a produção de combustíveis é o petróleo bruto que é extraído nos campos de produção. Entretanto, o mesmo não apresenta aplicabilidade prática, sendo necessário um pré-processamento, seguido de refino, onde o óleo é desmembrado em cortes ou frações comercialmente úteis (THOMAS, 2004). O petróleo é uma fonte energética importante para os tempos de hoje e as necessidades atuais da vida; no entanto, essa fonte de energia não tem seus componentes sendo aproveitados ao máximo pela indústria. Por isso, tem-se desenvolvido trabalhos de pesquisa visando metodologias de separação e caracterização de seus componentes para sua melhor utilização (DUARTE *et al.*, 2006). A caracterização composicional do petróleo e de suas frações é uma informação muito importante, pois permite determinar as condições operacionais de refino, fazer a seleção de catalisadores apropriados e de operações de mistura (“*blending*”), realizar a avaliação econômica das misturas e análises de impacto ambiental devido a emissões geradas na queima dos derivados combustíveis (IOB *et al.*, 1996).

As propriedades físico-químicas dos diferentes tipos de petróleos variam sensivelmente com a quantidade relativa de cada grupo de substâncias constituintes, tais como parafinas, olefinas, naftênicos, aromáticos, resinas e asfaltenos. Desta forma, devido às dificuldades de determinação dos diversos tipos de compostos que formam o petróleo, é usual a medição destas propriedades para assim estimar-se a composição do óleo (SKLO, 2005).

Há uma grande dificuldade na análise e quantificação dos componentes do petróleo devido aos vários tipos de hidrocarbonetos que o constituem, principalmente nas frações médias e pesadas. Os óleos pesados apresentam uma maior dificuldade de análise e caracterização em função da presença de componentes com grandes cadeias carbônicas, com um número vasto de isômeros com propriedades cromatográficas bem parecidas, além de alta viscosidade, demandando, por exemplo, o uso de elevadas

temperaturas para análise (FARAH, 2006). Deste modo, torna-se interessante a caracterização dessas frações por meio da medição de suas propriedades físico-químicas e, a partir destas, estimar qual o tipo de composto predominante naquela mistura ou óleo.

A insuficiência de dados experimentais a respeito da composição das frações de óleos pesados é agravada pela insuficiência de métodos de separação que possam gerar dados com a mesma eficiência do que se é possível obter para frações leves, além dos poucos testes físico-químicos que podem ser aplicados a este tipo de óleo (FARAH, 2006). A caracterização é complementada por cálculos que estimam as grandezas chamadas fatores de caracterização, distribuição dos átomos de carbono por família de hidrocarboneto e ainda composição química das frações. Esses cálculos também podem ser chamados de correlações matemáticas, e, em geral, utilizam propriedades básicas do óleo bruto (REYES-GONZALEZ *et al.*, 2016).

As propriedades físico-químicas, obtidas de forma experimental e teórica, são interessantes para aprimorar a caracterização dos óleos brutos em conjunto a métodos tradicionais de separação de frações de hidrocarbonetos por diferença de polaridade, utilizando solventes (RUDYK, 2018). Dentre estes, o mais conhecido na literatura especializada é o método de separação SARA, que separa as frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos, sendo os últimos componentes policíclicos de alto peso molecular, compreendendo átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio (SPEIGHT, 2006). Entretanto, este método é bastante demorado e requer melhorias para que haja uma separação mais rápida e efetiva.

Este trabalho tem por objetivo obter a caracterização de duas amostras diferentes de petróleo de forma mais rápida e econômica com a otimização do método vigente para separação das frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (SARA) como uso de banho ultrassom, bem como caracterizar os óleos através da avaliação de propriedades físico-químicas experimentais e teóricas, a fim de promover uma classificação eficiente dos materiais e observar a sinergia entre os resultados obtidos pelas diferentes técnicas.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Metodologia de separação SARA

Foram tomadas duas amostras de óleo originárias da região de Mossoró (RN - Brasil). Dois gramas de cada amostra foram adicionados a frascos vazios previamente pesados, juntamente a 25 mL de n-heptano para solubilização do óleo com o auxílio de banho ultrassom, durante 3 min. O óleo solubilizado permaneceu em repouso durante 1 h e seguiu para centrifugação por 10 min numa centrífuga da marca FANEM, a fim de se separar os asfaltenos precipitados com n-heptano. A seguir, 10 mL de acetona foram adicionados ao líquido restante e esta mistura foi centrifugada nas mesmas condições anteriores, para retirar a resina sobrenadante. A fração líquida restante foi

levada a um funil de separação, onde foi utilizada dimetilformamida (DMF) para extrair a fração de aromáticos. Após a separação das frações foi efetuada a evaporação dos solventes em rotaevaporador (Fisatom) e, posteriormente, a pesagem dos frascos com amostra para obtenção do teor mássico das frações do óleo. Os testes foram feitos em triplicata para cada amostra. Um fluxograma representativo do método de separação SARA otimizado está apresentado na Figura 1.

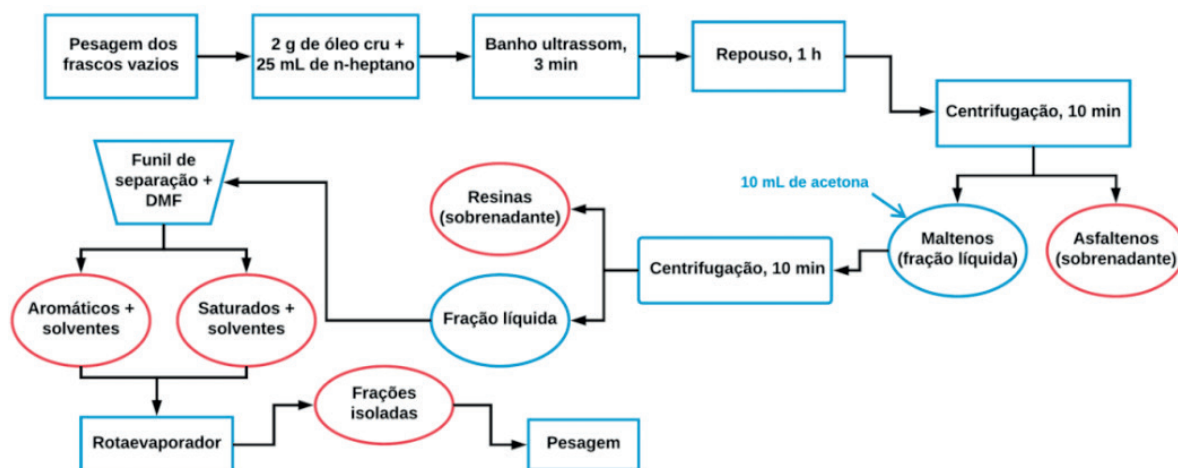


Figura 1. Diagrama da metodologia SARA utilizada neste trabalho.

## 2.2 Curva de destilação PEV

As curvas de ponto de ebulição verdadeiro (PEV) das amostras foram cedidas pela empresa UTC Engenharia. Sua obtenção se deu por meio de destilação das amostras em um equipamento (Figura 2) que combina as metodologias descritas nas normas ASTM D2892 (*Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column)*) e ASTM D5236 (*Standard Test Method for Distillation of Heavy Hydrocarbon Mixtures (Vacuum Potstill Method)*).



Figura 2. Equipamento para destilação de ponto de ebulição verdadeiro (PEV) i-Fischer® DIST D-2892/5236 MC / FISCHER® AUTODEST® 800/860 MC. Fonte: <https://www.htds.fr/en/labo-research/analytical-instruments/physico-chemical-analysis/petrochemical-analyser/laboratory-distillations/distillation-combined-semi-automatic-astm-d2892-d5236/>.



## 2.3 Ponto de fluidez

Os testes de ponto de fluidez foram realizados de acordo com a metodologia descrita pela norma ASTM D97, em um equipamento CPP 5Gs (ISL). Quarenta mililitros de amostra foram transferidos para o frasco de vidro padrão do equipamento, que foi colocado na jaqueta de teste (*jacket*) do equipamento. A cabeça de teste, contendo sensores de infravermelho para detecção do ponto de fluidez e um sensor de temperatura PT100, foi inserida na amostra e rosqueada. Após nomear a amostra e informar o ponto de fluidez esperado, deu-se início ao teste ao clicar em *start*.

Cada amostra foi aquecida até 45 °C e depois gradativamente resfriada. Durante o teste, a jaqueta de teste é automaticamente inclinada a cada 3 °C de resfriamento para avaliar o escoamento da amostra. Se após 5 s de inclinação não houver movimentação do óleo a determinada temperatura, este é determinado como o ponto de fluidez da amostra, reportado 3 °C acima da temperatura de momento por medida de segurança.

## 2.4 Viscosidade cinemática e dinâmica

A norma ASTM D7042 foi utilizada como parâmetro para realização das medidas de viscosidade dos óleos. As amostras foram aquecidas a cerca de 40 °C para aumentar sua fluidez e injetadas no viscodensímetro Stabinger™ SVM 3000 (Anton Paar) com o auxílio de seringas. O equipamento foi configurado para o método M9 (*temperature range scan*), que permite determinar uma rampa de temperaturas para leitura dos valores de viscosidade. Assim, escolheu-se uma rampa com 5 pontos que partiam de 40 °C até 80 °C, com incrementos de 10 °C a cada ponto.

## 2.5 Densidade API (°API)

Os testes de gravidade ou densidade API (°API) seguiram a metodologia descrita na norma ASTM D7777. Nos primeiros anos da indústria do petróleo, o Instituto Americano de Petróleo (*American Petroleum Institute – API*) definiu o °API como parâmetro de quantificação da qualidade de produtos petrolíferos e óleos brutos. Inicialmente, 3 mL de amostra foram injetados no densímetro portátil DA-130N (KEM) através de uma seringa, até que o tubo de vidro em formato U do equipamento fosse completamente preenchido com o óleo. A leitura era realizada à temperatura ambiente ao pressionar a tecla *OK*.

Para inferir a densidade relativa ou gravidade específica (SG) dos óleos de forma teórica foi utilizada uma correlação matemática com os dados de °API obtidos experimentalmente, através da Equação 1 descrita por Riazi (2005):

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \quad \text{Equação 1}$$

onde SG representa a razão entre a densidade do óleo e a densidade da água em g/cm<sup>3</sup> a 15 °C.

## 2.6 Ponto de anilina teórico (AP) e teor de aromáticos (%A)

A equação para determinação do ponto de anilina teórico descrita por Riazi (2005) utiliza o valor de °API e de temperatura de corrigida (Tcorr) obtida a partir da curva de destilação PEV como parâmetros de cálculo (Equação 2):

$$AP = 183,5 + 0,27(^{\circ}API)(Tcorr)^{1/3} + 0,317(Tcorr) \quad \text{Equação 2}$$

O teor de aromáticos foi calculado a partir dos valores de AP e de SG calculado pela relação com o °API (Equação 1), como mostrado na Equação 3 (Riazi, 2005):

$$\%A = 692,4 + 12,15(SG)(AP) - 794(SG) - 10,4(AP) \quad \text{Equação 3}$$

## 2.7 Fator $K_{UOP}$

O fator de classificação de petróleos  $K_{UOP}$  foi calculado através da Equação 4, utilizando os parâmetros de temperatura corrigida (Tcorr) em graus Rankine (°R) obtida a partir da curva de destilação PEV por cálculos descritos na literatura (Riazi, 2005) e de gravidade específica SG:

$$K_{UOP} = \frac{(Tcorr (^{\circ}R))^{1/3}}{SG} \quad \text{Equação 4}$$

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Separação SARA

Os resultados de porcentagem mássica das frações de hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos dos óleos analisados neste trabalho, obtidos pela extração por solventes no método SARA, estão apresentados na Tabela 1. É possível observar que, de acordo com esta metodologia, o Óleo 1 apresenta composição mais pesada, com maior teor de asfaltenos (alto peso molecular, alta concentração de contaminantes), enquanto o Óleo 2 apresenta maior teor de hidrocarbonetos saturados (menor peso molecular, menor concentração de contaminantes), o que o tornaria mais interessante para aproveitamento industrial. O desvio padrão experimental foi relativamente alto para a fração de aromáticos, mas o valor ainda é aceitável para esta técnica de acordo com o observado na literatura (ASHOORI *et al.*, 2017). Além disso, o método de separação assistido por banho ultrassom permitiu reduzir o tempo de extração de asfaltenos em cerca de 10 h em relação ao método tradicional executado para comparação.

Composição	Óleo 1 (%)	Óleo 2 (%)
Saturados	86,74±7,20	90,48±4,09
Aromáticos	3,85±2,69	3,24±0,90
Resinas	1,89±1,29	1,78±1,68
Asfaltenos	7,25±5,11	4,34±2,97

Tabela 1. Resultados da separação SARA.

### 3.2 Caracterizações físico-químicas e correlações

As curvas PEV dos óleos analisados estão apresentadas na Figura 3. As curvas indicam que os óleos possuem comportamentos semelhantes, onde se pode observar que o Óleo 1 inicia a destilação a uma temperatura superior em relação ao Óleo 2 e possui uma curva mais linear, de 10 – 50% (v/v) de destilado. Além disso, o Óleo 2 atingiu uma porcentagem de recuperação de destilado superior ao Óleo 1, indicando que há uma menor quantidade de resíduo pesado (asfaltenos) que não entrou em ebulição durante a destilação à vácuo. Este perfil de destilação mostra que o Óleo 2 possui uma composição média de hidrocarbonetos mais leves, assim como visto nos resultados alcançados pelo método SARA otimizado (Tabela 1).

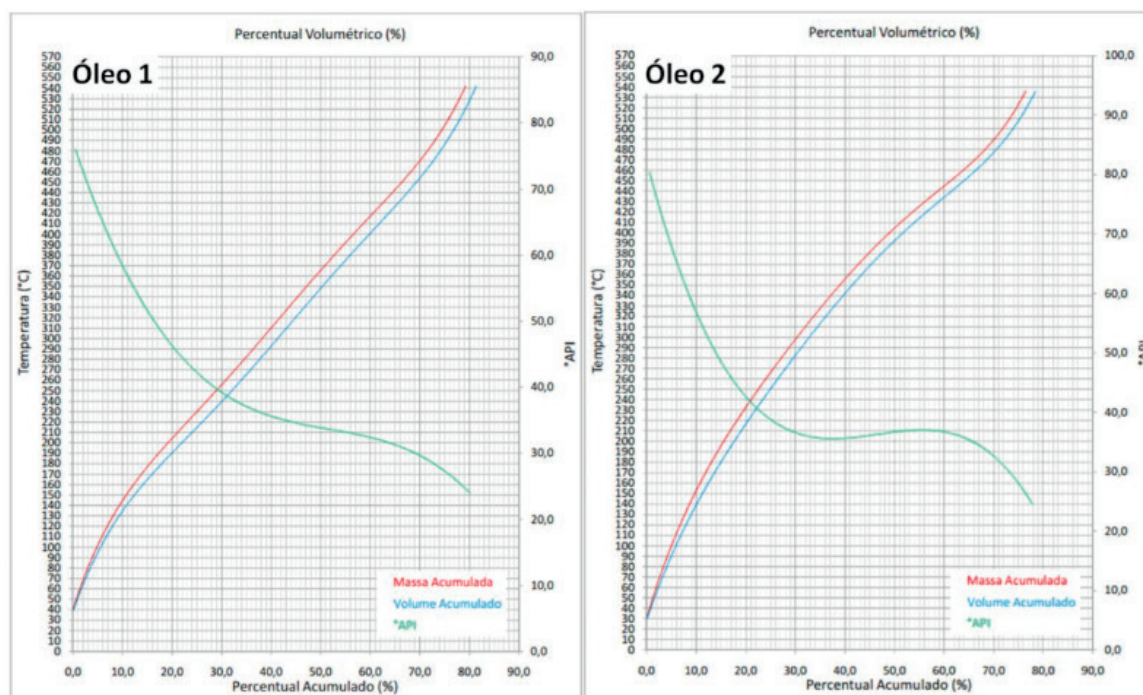


Figura 3. Curvas de ponto de ebulição verdadeiro (PEV) dos Óleos 1 e 2.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos através de testes experimentais de viscosidade, densidade API e ponto de fluidez. A partir desses dados, de acordo com a escala API, o Óleo 1 pode ser classificado como médio ( $27 < \text{API} < 33$ ) e o Óleo 2 como leve ( $33 < \text{API} < 40$ ), sendo esta segunda classe conhecida na literatura por

possuir alto teor de hidrocarbonetos saturados e aromáticos de cadeia pequena, geralmente mononucleados (SZKLO, 2008). Esta classificação se torna mais evidente quando comparada aos dados de ponto de fluidez das amostras, onde o maior teor de parafinas (hidrocarbonetos saturados lineares) está relacionado com o a formação de cristais a temperaturas mais altas e, conseqüentemente, ao ponto de fluidez mais alto do Óleo 2 (ASTM D97). A predominância desta fração parafínica relativamente mais leve também é responsável pelos menores valores de viscosidade do Óleo 2, que tendem a aumentar com a maior quantidade de frações pesadas constituídas de policíclicos aromáticos (asfaltenos) no caso do Óleo 1.

Propriedade	Óleo 1					Óleo 2				
°API (experimental)	32,5					33,5				
Ponto de fluidez (°C)	0					15				
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	27,8	17,2	11,6	8,6	6,7	12,4	8,1	6,1	4,9	4,1
Viscosidade dinâmica (mPa.s)	24,3	14,9	9,9	7,3	5,6	10,3	6,7	5,0	4,0	3,3

Tabela 2. Dados experimentais de propriedades dos óleos estudados.

Os dados teóricos obtidos através de correlações matemáticas estão descritos na Tabela 3. Através dos resultados, a amostra Óleo 1 pode ser classificada pelo seu fator  $K_{UOP}$  como um petróleo naftênico, alquinaftênico de cadeia média e alquilaromático de cadeia longa ( $11 \leq K_{UOP} < 12$ ), enquanto o Óleo 2 é classificado como um óleo parafínico com médio peso molecular ( $12 \leq K_{UOP} < 13$ ) (THOMAS, 2004).

Propriedade	Óleo 1	Óleo 2
Fator $K_{UOP}$	11,85	12,15
Gravidade específica (SG) (g/cm <sup>3</sup> )	0,8628	0,8576
Ponto de anilina teórico (AP)	78,67 °C	93,33 °C
Teor de aromáticos (%A)	13,24%	13,28%

Tabela 3. Dados teóricos para a caracterização dos óleos.

O ponto de anilina (AP) experimental está relacionado à temperatura em que a amostra solubilizada em anilina irá se separar e criar duas fases no sistema. A anilina, devido a sua natureza química, tende a reter moléculas de caráter aromático presentes



no óleo, e a temperatura (ou AP) em que a separação ocorre está relacionada à quantidade desses compostos (%A), como visto na Equação 3. Assim, a equação para o cálculo do AP teórico (Equação 2) descrita por Riazi (2005) é capaz de correlacionar o °API e o perfil de temperaturas de destilação ( $T_{corr}$ ) do óleo para a obtenção desse valor em °C, visto que estes parâmetros estão intimamente ligados com as frações que compõem a amostra.

Quanto menor a temperatura calculada para o AP, maior será o teor de aromáticos na amostra, visto que, experimentalmente, a anilina solubilizará amostras com maior teor de aromáticos a uma menor temperatura (SKLO, 2005). Este fato pode ser observado na Tabela 3, onde o Óleo 1 apresentou menor AP que o Óleo 2 por possuir um maior teor de compostos aromáticos e aromáticos polinucleados, os asfaltenos, como mostrado nos resultados do método de separação SARA otimizado (Tabela 1). O valor calculado para o teor de aromáticos foi similar para as duas amostras, sendo o %A do Óleo 1 (13,24%) bem próximo a soma entre as médias das porcentagens de aromáticos e asfaltenos apresentadas na Tabela 1; entretanto, há uma discrepância entre os valores de %A e de porcentagem das espécies de natureza aromática obtidos pelo SARA, mostrando um possível desvio para este resultado.

#### 4 | CONCLUSÃO

É possível observar que há uma correlação significativa entre os resultados obtidos pelo método SARA assistido por banho ultrassom, destilação PEV e propriedades físico-químicas experimentais e teóricas, todos estes apontando que a amostra Óleo 1 é constituída por frações mais pesadas e por um maior teor de aromáticos e asfaltenos, enquanto o Óleo 2 apresenta características de um petróleo de médio peso molecular, com predominância de cadeias parafínicas e um certo teor de aromáticos mononucleados, presentes nas frações mais leves de hidrocarbonetos do óleo mineral.

O estudo realizado com o conjunto destas técnicas foi capaz de mostrar as principais características e a composição média dos óleos brutos, informações importantes para designar as frações de interesse de cada um e ajustar todos os processos para refiná-los. A metodologia utilizada para o SARA, além de diminuir o tempo de separação para a fração de asfaltenos em cerca de 10 h, reduzindo o custo e a morosidade da análise, apresentou sinergismo com os resultados das demais técnicas de caracterização cruciais para a indústria de petróleo e permitiu uma avaliação precisa da qualidade dos óleos estudados.

#### REFERÊNCIAS

ASHOORI, S; SHARIFI, M.; MASOUMI, M.; SALEHI, M.M. **The relationship between SARA fractions and crude oil stability**. Egyptian Journal of Petroleum, v. 26, n. 1, p. 209-213, 2017.

DUARTE, E.T.F.M.; MIZUTANI, F.T.; XAVIER, G.M.; MELLO, L.F. **Avaliação dos métodos de caracterização PNA para frações de petróleo**. 2006. 120 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.

FARAH, M. A. **Caracterização de frações de petróleo pela viscosidade**. 2006, 271f . Tese (Doutorado em Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IOB, A.; ALI, M.A.; TAWABINI, B.S. ABBAS, N.M. **Hydrocarbon group (PONA) analysis of reformat by FT-i.r. spectroscopy**. Fuel, v. 75, n. 9, p. 1060-1064, 1996.

REYES-GONZALEZ, D.; RAMIREZ-JARAMILLO, E.; MANERO, O.; LIRA-GALEANA, C.; DEL RIO, J.M. **Estimation of the SARA Composition of Crude Oils from Bubblepoint Pressure Data**. Energy Fuels, v. 30, p. 6913-6922, 2016.

RIAZI, M. R. **Characterization and properties of petroleum fractions**. 1st ed. Philadelphia: ASTM Manual Series - MNL50, 429 p. 32-139, 2005.

RUDYK, S. **Relationships between SARA fractions of conventional oil, heavy oil, natural bitumen and residues**. Fuel, v. 216, p. 330-340, 2018.

SKLO, A.S. **Fundamentos do refino de petróleo**. Interciência., 2005.

SPEIGHT, J.G.S. **The chemistry and technology of petroleum**. 4th ed. London: E. Taylor & Francis Group, 2006.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Interciência, 2004.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-195-4

